

19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 195 09 129 A 1

51 Int. Cl.°:
F 17 D 5/02
F 16 L 55/18
G 01 K 17/08
G 01 K 11/32
G 01 K 1/08
G 01 M 3/04

21 Aktenzeichen: 195 09 129.8
22 Anmeldetag: 14. 3. 95
43 Offenlegungstag: 29. 8. 98

DE 195 09 129 A 1

30 Innere Priorität: 32 33 31

24.02.95 DE 185065905

71 Anmelder:

GESO Gesellschaft für Sensorik, geotechnischen
Umweltschutz und mathematische Modellierung
mbH Jena, 07743 Jena, DE

74 Vertreter:

Meissner, Bolte & Partner, 80538 München

72 Erfinder:

Großwig, Stephan, Dr.rer.nat., 07749 Jena, DE;
Kühn, Katrin, 07749 Jena, DE; Hurtig, Eckart, Prof.
Dr.rer.nat.habíl., 14480 Potsdam, DE

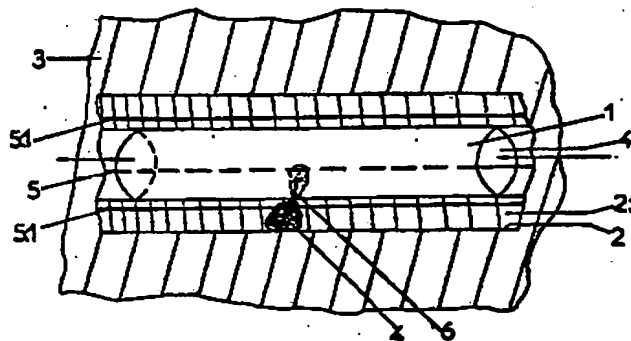
58 Entgegenhaltungen:

| | |
|----|--------------|
| DE | 93 18 404 U1 |
| EP | 5 55 848 A2 |
| JP | 04-1 68 338 |
| JP | 58-97 841 |

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

64 Verfahren und Vorrichtung zur Kontrolle und Überwachung des Zustandes von Rohren, Behältern, Pipelines oder dergleichen

67 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Kontrolle und Überwachung des Zustandes von Rohren, Behältern, Pipelines oder dergleichen, wobei diese flüssige oder gasförmige Medien mit einer bezogen auf die unmittelbare Umgebung unterschiedliche Medientemperatur führen. Erfindungsgemäß wird die Umgebungstemperaturverteilung mindestens über Abschnitte längs und/oder umfangsmäßig und/oder im Bodenbereich nahe bei den Rohren, Behältern, Pipelines oder dergleichen, jedoch außerhalb des von diesen umschlossenen Medienraumes bestimmt. Diese Bestimmung erfolgt mit einem langgestreckten verteilten Temperatursensor, insbesondere einem faseroptischen Sensorkabel zur verteilten Temperaturmessung, wobei bei festgestellter örtlicher Anomalie in der Temperaturverteilung auf eine Leckage geschlossen und der Ort, die Ausbreitungsrichtung sowie die Leckagemenge aus der Temperaturverteilung am jeweiligen Anomaliepunkt oder sich verändernden Ort der Anomalie bestimmbar ist.



BEST AVAILABLE COPY

DE 195 09 129 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Kontrolle und Überwachung des Zustandes von Rohren, Behältern, Pipelines, oder dergleichen, welche flüssige oder gasförmige Medien mit einer, bezogen auf die unmittelbare Umgebung unterschiedlichen Medientemperatur führen oder bei welchen aufgrund einer Leckage durch Verdunstungs- oder Expansionskälte eine lokale Temperaturschwankung vorliegt.

Die Überwachung von Rohrleitungen, Heizungstrassen, Pipelines oder dergleichen wird bisher durch Kontrollgänge durchgeführt, wobei derartige Kontrollgänge der visuellen Erkennung möglicher Leckagen dienen.

Des weiteren ist es bekannt, an ausgewählten Meßstellen den im Rohrleitungssystem vorhandenen Druck zu bestimmen, um bei plötzlich auftretendem Druckabfall weitere Maßnahmen zur Untersuchung eines möglichen Schadens einzuleiten. Es ist jedoch offensichtlich, daß derartige Überwachungsmethoden zum einen sehr aufwendig zum anderen nur unzureichend genau den Ort bzw. die Lage einer Leckage erkennen lassen.

Aus Gründen des Umweltschutzes werden Flachbodentanks, bestimmte Rohrleitungen oder andere gefährliche medienführende Behälter mit Doppelböden bzw. einer Doppelwandung versehen, wodurch bei Korrosionserscheinungen bzw. dem Auftreten eines Lecks im Zwischenboden der äußere, zweite Boden oder die äußere Wandung Sicherheit gegen das Austreten von im Inneren befindlichen umweltgefährdenden Medien gewährleistet. Konstruktionsbedingt muß der Raum zwischen den beiden Böden oder Wandungen, z. B. dem Zwischenboden und dem äußeren Boden eines Flachbodentanks ständig überwacht werden, um feststellen zu können, ob der Zwischenboden ein Leck aufweist, um dann nach dem Feststellen einer derartigen Leckage z. B. den Tank oder das Rohrleitungssystem zu entleeren und um eine Reparatur vornehmen zu können.

Derartige Überwachungen, auch z. B. für Stahlmantelrohrtrassen, werden bekannterweise durch Vakuumüberwachungsanlagen durchgeführt. Hierfür wird der Raum zwischen den beiden Böden oder Innenrohr und Stahlmantel mit einem definierten Vakuum beaufschlagt, wobei durch eine entsprechende Drucküberwachungseinrichtung feststellbar ist, ob sich das Vakuum aufgrund eines Lecks verändert. Für jeden Tank oder vorgegebene Stahlmantelrohrabschnitte ist jedoch eine separate Vakuumüberwachungsanlage erforderlich, wodurch die Kosten derartiger Systeme erhöht werden. Darüber hinaus kann nicht festgestellt werden, ob ein ermittelter Druckverlust auf Undichtheiten in Systemflanschverbindungen, Undichtheiten des äußeren Bodens bzw. Stahlmantels oder Undichtheiten des Zwischenbodens bzw. Innenrohres zurückzuführen ist. Im Zweifelsfalle muß mit entsprechendem Aufwand der gesamte Tank oder ein Rohrleitungssystem geleert werden, um zu überprüfen, wo die Ursache für die festgestellte Undichtheit liegt. Eine derartige Lecksuche ist daher außerordentlich zeitaufwendig.

Darüber hinaus ist es bekannt an der Innenseite eines äußeren Bodens, z. B. eines doppelwandigen Tankbodens, einen Überwachungsraum auszubilden, welcher ein Sensorkabel aufnimmt, das in der Lage ist, eintretende Flüssigkeiten durch lokale Veränderung der Dielektrizitätskonstante des Sensorkabels zu bestimmen. Zur Feststellung des jeweiligen eingedrungenen Stoffes sowie des Ortes wird das Sensorkabel mit Hochfrequenzenergie nach dem Impuls-Echo-Verfahren beaufschlagt,

wobei mittels einer nachgeschalteten Auswerteeinrichtung die reflektierten Meßdaten mit einem vorab aufgenommenen, gespeicherten Normalbild verglichen werden.

Mittels eines ständigen Vergleiches der aktuellen, reflektierten Meßdaten mit dem gespeicherten Normalbild, kann eine Leckageentwicklung bzw. -ausbreitung beobachtet werden. Darüber hinaus können mehrere Leckagen an unterschiedlichen Orten bestimmt werden.

Das bei der vorstehenden Lösung verwendete dielektrisch-sensitive Sensorkabel ist teuer und die zur Auswertung erforderliche Hardware aufwendig, wobei weiterhin Probleme dann auftreten, wenn größere Längen bzw. Abschnitte mittels des beschriebenen Verfahrens überwacht werden sollen.

Aus dem auf die Anmelderin zurückgehenden Deutschen Gebrauchsmuster G 93 18 404 ist eine Einrichtung zum Bestimmen von Temperaturen an oder in ausgedehnten Meßobjekten bekannt, wobei die dort gezeigte Einrichtung eine optisch-elektronische Meßvorrichtung verwendet.

Die bekannte Meßvorrichtung speist an mindestens einem Ende eines Lichtwellenleiters einen Laserimpuls ein und dient der Untersuchung der vom Lichtwellenleiter rückgestreuten Strahlung.

Aufgrund der gegebenen Wechselwirkungen läßt sich die Temperatur und der Ort längs des Lichtwellenleiters spektral und laufzeitabhängig auswerten. Demnach können die Längenkoordinaten des Lichtwellenleiters entsprechenden Temperaturwerten zugeordnet werden.

Das im Deutschen Gebrauchsmuster G 93 18 404 gezeigte Meßverfahren greift auf die Auswertung des rückgestreuten Raman-Streulichtes eines Lichtwellenleiters zur Temperaturmessung zurück. Diese Temperaturmessung beruht dabei auf dem bekannten DTS-Meßverfahren (Distributed Optical Fibre Temperature Sensing), bei dem das Licht eines Lasers in einen Lichtwellenleiter eingekoppelt wird. Bei der Ausbreitung des Laserlichtes innerhalb des Lichtwellenleiters erfolgt eine Streuung an den Molekülen desselben, wobei die Intensität des rückgestreuten Lichtes in Abhängigkeit von der Laufzeit in vorgegebenem Maße abfällt. Aufgrund der bekannten Ausbreitungsgeschwindigkeit des emittierten Lichtes im Lichtwellenleiter kann aus dem ermittelten zeitlichen Verlauf der Intensität des Rückstreulichtes der vom Licht jeweils zurückgelegte Weg bestimmt werden.

Bedingt durch die Wechselwirkungen des Laserlichtes mit optischen Phononen, d. h. Schwingungsquanten einer elastischen Deformationswelle in einem Festkörper, entsteht die Raman-Rückstreuung. Die Intensität des Raman-Rückstreulichtes ist direkt von der Temperatur am jeweiligen Ort der Entstehung des Streulichtes abhängig. In dem Falle, wenn Laserlicht in den Lichtwellenleiter eingekoppelt und die Intensität des Raman-Streulichtes laufzeitabhängig ausgewertet wird, kann die ortsabhängige Temperaturverteilung ermittelt werden.

Mit der in dem Deutschen Gebrauchsmuster G 93 18 404 gezeigten Einrichtung soll durch die Anordnung eines Lichtwellenleiters als flächigem Gebilde, zweckmäßigerweise in Form eines Gitternetzes, die Überwachung der Temperaturentwicklung in Deponien untersucht werden. Durch die erhaltenen Temperaturwerte bzw. ein Temperaturmonitoring soll der geothermische Gradient und die geothermische Diffusivität im Bereich der abdichtenden Basistonschicht bestimmt

werden. Durch eine derartige Temperaturüberwachung, die parallel unterhalb der Basisabdichtung erfolgt, sollen Unregelmäßigkeiten oder Schäden des Deponieabbaus erkennbar sein, um dann Maßnahmen einzuleiten, mit denen eine Beeinträchtigung des Grundwassers verhindert wird.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Kontrolle und Überwachung des Zustandes von Rohren, Behältern, Pipelines oder dergleichen anzugeben, mit dessen Hilfe frühzeitig Informationen über Störungen erhalten werden können, so daß zur Vermeidung von Umweltschäden oder Energieverlusten Notabschaltungen vorgenommen und Sanierungs- oder Rekonstruktionsmaßnahmen eingeleitet werden können. Das Verfahren und die zugehörige Vorrichtung sollen insbesondere für die Überwachung von ausgedehnten Rohr- und Pipelinesystemen geeignet sein.

Die Lösung der Aufgabe der Erfindung erfolgt mit einem Gegenstand gemäß dem Patentanspruch 1, wobei insbesondere vorteilhafte verfahrens- und vorrichtungsseitige Ausbildungen und Weiterentwicklungen in den Unteransprüchen gezeigt sind.

Der Grundgedanke der Erfindung besteht darin, ausgehend von einem im zu überwachenden Raum befindlichen flüssigen oder gasförmigen Medium mit einer bezogen auf die unmittelbare Umgebung unterschiedlichen Medientemperatur oder im Falle einer lokalen Temperaturänderung durch Verdunstungskälte beim Austreten eines flüssigen Mediums bzw. durch Expansionskälte eines sich beim Austritt an einem Leck entspannenden Gases die Umgebungstemperaturverteilung mindestens über Abschnitte längs und/oder umfangmäßig und/oder im Bodenbereich nahe bei den Rohren, Behältern, Pipelines oder dergleichen, jedoch außerhalb des von diesen umschlossenen Medienraumes festzustellen.

Alternativ kann eine Überwachung der Temperaturverteilung im Inneren des Medienraumes erfolgen.

Bei ermittelter örtlicher Anomalie in der Temperaturverteilung wird dann erfindungsgemäß auf eine Leckage geschlossen und der Ort, die Ausbreitungsrichtung sowie die Leckagemenge aus der Temperaturverteilung am jeweiligen Anomaliepunkt bzw. der zeitlichen Veränderung der Temperaturverteilung am erwähnten Anomaliepunkt oder dem sich verändernden Ort der Anomalie bestimmt.

Ein weiterer Grundgedanke der Erfindung besteht darin, die Umgebungstemperaturverteilung mittels eines langgestreckten verteilten Temperatursensors zur verteilten Temperaturmessung zu bestimmen, wobei in besonders vorteilhafter Weise ein faseroptisches, mit Laserlicht beaufschlagtes Sensorkabel verwendet wird.

Es sei an dieser Stelle erwähnt, daß auch eine Vielzahl von Einzelsensoren, die in ihrer Wirkung der eines langgestreckten Sensors entsprechen, z. B. entsprechend verschaltete Pt-100 Thermoelemente, einsetzbar sind.

Durch die Bestimmung von örtlichen Anomalien in der Temperaturverteilung lassen sich frühzeitig vorhandene Leckagen, z. B. bedingt durch Korrosionserscheinungen oder Undichtheiten an Schweißnähten oder dergleichen, erkennen, so daß rechtzeitig Reparatur- oder andere Sicherungsmaßnahmen ergriffen werden können.

Dadurch, daß die Medientemperatur, die Temperaturverteilung längs des zu überwachenden Rohres oder der zu überwachenden Pipeline sowie die, bezogen auf das Überwachungsobjekt, entferntere Temperatur er-

faßt wird, läßt sich feststellen, ob beispielsweise eine Temperaturanomalie durch eine Leckage im medienführenden Rohr selbst bedingt ist oder ob bei einem dicht ausgeführten Rohrgraben Lecks im Graben mit der Folge vorhanden sind, daß z. B. Grund- oder Sickerwasser von außen eindringt.

Diese Ausgestaltung ist insbesondere auch dann vorteilhaft anwendbar, wenn erfindungsgemäß die Temperaturverteilung in einem Zwischenboden, z. B. bei einem Flachbodentank, überwacht wird. In diesem Falle läßt sich ermitteln, ob der äußere Boden defekt ist und die Anomalie auf Eindringen von Feuchtigkeit oder Wasser von außen zurückzuführen ist, oder ob der Zwischenboden selbst eine Leckage aufweist, durch welches das im Behältnis befindliche Medium in den Zwischenbodenraum eindringt.

Durch erfindungsgemäße Ausnutzung von Tag/Nacht-Temperaturschwankungen der Umgebungstemperatur und aufgrund vorhandener Wärmekapazitäten großer Tankanlagen kann das Verfahren auch dann genutzt werden, wenn ein in einem Behälter befindliches Medium nicht strömt und längere Zeit im Behälter bzw. Tank verbleibt.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann beispielsweise auch zur Überwachung von Sammelkanälen, die der Aufnahme von Post- und Fernmeldekabeln oder sonstigen elektrischen Leitungen dienen, angewendet werden, wobei in diesem Falle ein unerwünschtes Eindringen von Fremdmedien in den jeweiligen Sammelkanal überwacht wird.

Vorrichtungsseitig wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, den langgestreckten Temperatursensor bzw. das faseroptische Sensorkabel innerhalb eines Rohrgrabens oder einer Rohrbrücke längs des Rohres umfangsseitig, an der Außenoberfläche des Rohres unmittelbar oder über einen vorgegebenen Abstand anliegend anzuordnen.

Der erwähnte langgestreckte Temperatursensor bzw. das faseroptische Sensorkabel kann unmittelbar beim Errichten, d. h. dem Neubau eines Rohrgrabens oder einer Rohrbrücke installiert werden. Da es jedoch aus Umweltschutzaspekten zunehmend erforderlich wird, bereits vorhandene Rohrgräben oder ähnliches zu überwachen, kann ohne großen Aufwand das Nachrüsten vorhandener Anlagen mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung erfolgen.

Es liegt im Sinne der Erfindung, daß diese nicht nur zur Überwachung von Rohren und Behältern, Tanks, Pipelines oder dergleichen eingesetzt wird, die flüssige oder gasförmige Medien mit einer, bezogen auf die unmittelbare Umgebung, unterschiedlichen Medientemperatur führen, sondern daß eine Anwendung auch dann gegeben ist, wenn flüssige Medien geführt oder umschlossen werden, die beim Austreten an einem Leck durch auftretende Verdunstungskälte zu einer lokalen Temperaturanomalie bzw. Temperaturschwankung führen. Ebenso kann ein Rohr oder ein Rohrsystem überwacht werden, welches zum Transport gasförmiger, unter Druck stehender Medien dient, wenn beim Austreten des unter Druck befindlichen Gases aufgrund der plötzlichen Expansion in der Nähe des Gasaustrittes eine lokale Temperaturänderung eintritt.

Bei im wesentlichen horizontal verlaufenden Rohren, Pipelines oder dergleichen wird der langgestreckte Temperatursensor bzw. das Sensorkabel unterhalb der Rohre angeordnet.

Im letzteren Falle können zweckmäßigerweise mehrere im wesentlichen parallel verlaufende Temperatur-

sensoren bzw. Sensorkabel jeweils parallel zur Längsachse der Rohre und unterhalb dieser beabstandet angeordnet werden, so daß die Ausbreitungsrichtung und Ausbreitungsmenge eines leakagebedingten Medienaustrittes bestimmbar ist.

Ein weiterer vorrichtungsseitiger Grundgedanke der Erfindung besteht darin, daß der Temperatursensor bzw. das faseroptische Sensorkabel abschnittsweise fortlaufend und schleifenförmig die Rohre, Pipelines oder dergleichen umfangsmäßig umgibt, um insbesondere Leckagen in senkrechten Abschnitten und/oder an Schweißnähten oder Verschraubungen zu überwachen.

Es liegt im Sinne der Erfindung, an besonders gefährdeten Stellen, nämlich den erwähnten Schweißnähten, Verschraubungen, Krümmungen oder dergleichen pro Oberflächenabschnitt des zu überwachenden Behältnisses bzw. Rohres, mehrere bzw. dichter angeordnete Temperatursensoren bzw. Sensorkabel vorzusehen, so daß auch kleinste Leckagen mit hoher Ortsauflösung identifizierbar sind.

Erfindungsgemäß wird die Erkenntnis ausgenutzt, daß ein austretendes Medium mit höherer oder niedrigerer Temperatur, bezogen auf die Umgebungstemperatur, zu einer lokalen Temperaturveränderung führt, welche auch die unmittelbare Umgebung des Rohr- oder Behältermantels in diese Temperaturveränderung mit einbezieht. Hierdurch ist sichergestellt, daß auch Lecks erkannt werden, die zum Austritt eines gasförmigen Mediums an einer Stelle relativ weit entfernt vom Sensorkabel führen.

Durch die Anordnung des Sensorkabels im wesentlichen unterhalb einer Rohrleitung, welche im wesentlichen horizontal verläuft und die ein flüssiges Medium führt, ist sichergestellt, daß in Verbindung mit dem durch Schwerkraft bedingten Entlangkriechen oder Entlanglaufen des Mediums eine schnelle und exakte Leckageermittlung erreicht werden kann.

In dem Falle, wo Rohrgräben oder Umhausungen zur Aufnahme von Tanks flüssigkeitsdicht ausgeführt sind, können zusätzliche Temperatursensoren oder alternativ bekannte Füllstandssensoren in oder an der Seitenwand des betreffenden Grabens, einer Wanne oder der Umhausung angeordnet sein, um dem durch ein Leck verursachten Füllungsgrad letzterer zu ermitteln.

Das erfindungsgemäße Verfahren nutzt also die Kenntnis, daß bei vorhandenem Temperaturunterschied zwischen dem in einem Behältnis, Rohr oder dergleichen befindlichen Medium und der Umgebung das Austreten des Mediums auch zu einer örtlichen Temperaturveränderung an der Austrittsstelle führt. Dies stellt sich bei einer Erfassung der Temperaturverteilung z. B. längs einer Pipeline, die ansonsten einen in einem bestimmten Bereich sich verändernden Mittelwert einnimmt, als örtlicher Temperaturpeak dar.

Mit Hilfe des besonders vorteilhaft verwendbaren faseroptischen Sensorkabels und der Auswertung von Laufzeit und Intensität des rückgestreuten Lichtes, können Rohrleitungsabschnitte mit einer Länge von 5 bis 20 km bei einer Temperaturauflösung bis hin zu $0,1^\circ\text{K}$ überwacht werden. Die Ortsauflösung liegt je nach Länge des Sensorkabels im Bereich von 0,5 bis 2 m, wobei höhere Genauigkeiten durch das erwähnte abschnittsweise fortlaufende und schleifenförmige Verlegen des faseroptischen Sensorkabels erreicht werden können.

Alles in allem kann mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und der dazugehörigen Vorrichtung in kostengünstiger Weise eine ständige aktuelle Kontrolle und Überwachung des Zustandes von Rohren, Behältern, Pi-

pelines oder dergleichen, insbesondere großer Längenausdehnung vorgenommen werden, wobei weiterhin die erhaltenen Meßwerte durch telemetrische Datenübertragung an einer Zentralstelle auswertbar sind, so daß sich insgesamt die Betriebssicherheit von beispielsweise Erdgas- oder Erdölpipelines erhöht.

Durch das erfindungsgemäße Verfahren und aufgrund der Tatsache, daß im Leckagefall sich Temperaturdifferenzen zwischen den betrachteten Räumen ergeben, können durch die verteilte Temperaturmessung z. B. mittels faseroptischer Sensorkabel eine oder mehrere Leckagestellen erkannt und hinsichtlich ihrer jeweiligen Längen- oder Raumkoordinaten lokalisiert werden. Demnach lassen sich Abschnitte mit z. B. fortgeschrittener Korrosion erkennen und es läßt sich durch Langzeitmonitoring die zeitliche Entwicklung derartiger Leckagen betrachten.

Die Erfindung soll nachstehend anhand eines Ausführungsbeispiels und unter Zuhilfenahme von Figuren näher erläutert werden.

Hierbei zeigen:

Fig. 1a die Draufsicht eines Pipeline-Abschnitts in einem Graben mit vorhandener Leckage;

Fig. 1b eine Querschnittsdarstellung der in Fig. 1a gezeigten Anordnung einer in einem Graben befindlichen Pipeline;

Fig. 2 die Anordnung des verteilten Temperatursensors bzw. Sensorkabels in einem Ausdehnungs-Ausgleichsbereich einer längeren Rohrleitung, die einen Flansch oder eine Schweißnaht aufweist;

Fig. 3a ein zu überwachender Flachbodentank in Schnittdarstellung, wobei im Doppelboden verteilte Temperatursensoren angeordnet sind;

Fig. 3b die Draufsicht auf den unteren Boden des Doppelboden-Behälters gemäß Fig. 3a mit mäanderförmig verlegtem verteiltem Temperatursensor bzw. Sensorkabel; und

Fig. 4 eine beispielhafte Darstellung der erfaßten Temperatur über einen Abschnitt einer Pipeline mit einem unterhalb der Pipeline angeordneten faseroptischen Sensorkabel.

Bei dem in den Fig. 1a und 1b gezeigten Ausführungsbeispiel befindet sich eine Pipeline bzw. eine Rohrleitung 1 in einem Rohrgraben 2. Dieser Rohrgraben 2 kann durch Aushub von Erdreich 3 entstehen oder durch einen separaten, wannenförmigen Körper, z. B. aus Beton (nicht gezeigt), der sich wiederum im Erdreich 3 befinden kann, gebildet werden.

Im Inneren der Pipeline 1 befindet sich ein strömendes Medium 4 z. B. Erdöl, wobei sich die Medientemperatur von der Umgebungstemperatur im Graben oder des umgebenden Erdreiches 3 unterscheidet.

Wie in den Fig. 1a und 1b ersichtlich, ist längs der Ausdehnungsrichtung der Pipeline 1 mindestens ein langgestreckter Temperatursensor, z. B. ein faseroptisches Sensorkabel 5 angeordnet. Zweckmäßigerweise befindet sich das Sensorkabel 5 nahezu in der Mitte unterhalb der Pipeline 1.

Zur Vermeidung von Zerstörungen des Sensorkabels 5 kann dieses seitlich des Ortes der maximalen Flächenpressung zwischen der Pipeline 1 und dem Grabenboden 2.1 bzw. dem Erdreich 3 angeordnet sein.

Um die Ausbreitungsrichtung und Größe des Lecks erfassen zu können, sind seitlich unterhalb der Pipeline 1 weitere Sensorkabel 5.1 anordenbar.

In dem Falle, wo der Rohrgraben 2 oder eine nicht gezeigte Wanne zur Aufnahme der Pipeline 1 dicht ausgeführt sind, können in vorgegebener Höhe ausgehend

vom Grabenboden 2.1 an der Seitenwandung 2.2 des Grabens 2 weitere langgestreckte, verteilte Temperatursensoren 5.2 angeordnet werden.

Im Falle eines z. B. korrosionsbedingten Lecks 6 tritt das Medium 4 aus und fließt in der Regel längs des Rohres bzw. der Pipeline 1 hin zum Grabenboden 2.1.

Das bezogen auf die Umgebungstemperatur eine andere Temperatur aufweisende Medium 4 führt zu einem lokalen Temperaturpeak, der mit dem Medium 4 in Kontakt kommenden Abschnitt des Sensorkabels 5 bis 5.2 bestimmt werden kann.

In dem Falle, wo beim geschilderten Ausführungsbeispiel als verteilter Temperatursensor ein faseroptisches Sensorkabel verwendet wird, sendet eine Laserlichtquelle Lichtimpulse in dieses Sensorkabel, nämlich einen Lichtwellenleiter. Das im Lichtwellenleiter rückgestreute Licht wird an einer vorgegebenen Stelle ausgekoppelt und über entsprechende Filter auf einen Detektor geführt. Hierbei läßt ein erstes optisches Filter Licht der Stokes-Linie Is durch, während ein zweites optisches Filter Licht der Anti-Stokes-Linie Ia passieren läßt.

Der erwähnte Detektor erzeugt dann aus den ihm zugeführten Intensitäten Is und Ia der Stokes-Linie und der Anti-Stokes-Linie Signale, welche an einem Dividierer angelegt werden. Mittels einer Verhältnisbildung der aus den Linien Is und Ia erhaltenen Spannungssignale Us und Ua werden Störeinflüsse, die auf eine Inhomogenität der verwendeten Lichtquelle oder anderer äußerer Einflüsse auf den Lichtwellenleiter zurückzuführen sind, mit Ausnahme der Temperatur eliminiert.

Ausgangseitig ist der Dividierer mit einem Rechner in verbunden, welcher in Abhängigkeit von der Laufzeit des eingestrahnten Lichtes und damit in Relation zur Längenkoordinate des Lichtwellenleiters Temperaturwerte bestimmt.

Mittels des Rechners können also konkreten Punkten bzw. Orten des Lichtwellenleiters Temperaturwerte zugeordnet werden. Das Verhältnis der Intensität der Stokes-Linie Is und der Anti-Stokes-Linie Ia bestimmt dabei den jeweiligen Temperaturwert, während die Längenkoordinaten des Lichtwellenleiters aus der Laufzeit des rückgestreuten Lichtimpulses ermittelt werden.

Der jeweilige Temperaturmeßbereich hängt dabei vom verwendeten Sensorkabel ab und liegt beim gezeigten Ausführungsbeispiel im Bereich zwischen 100 und 750° K. Gemäß einem Ausführungsbeispiel wird bei einer Länge des Lichtwellenleiters von ca. 8 km eine Ortsauflösung im Bereich von einem Meter erreicht. Bei einer Länge des Lichtwellenleiters von bis zu 20 km beträgt die derzeit erreichte Ortsauflösung 2 Meter. Das erzielte örtliche Auflösungsvermögen kann durch eine Steuerung der Impulsdauer eingestellt werden. Die erreichte Temperaturentauflösung liegt im Bereich von 0,1° K.

Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel besteht die Möglichkeit der Selbstkalibrierung der verwendeten faseroptischen Sensorkabel durch Erfassung sich ändernder Mittelwerte über den Tagesverlauf bzw. in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur des Rohres, der Pipeline oder des Behälters. Wesentlich ist, daß auftretende örtliche Temperaturunterschiede, die auf den Einfluß von Leckagen zurückzuführen sind, erkannt werden können. Zweckmäßigerweise können hierfür als Referenztemperaturen nicht nur die Umgebungstemperatur sondern auch die eigentliche Medientemperatur erfaßt werden, so daß z. B. bei Behältern mit nicht-fließenden Medien über den Tagesgang und unter Berücksichtigung

der Wärmekapazität des Mediums zu bestimmten Zeitpunkten mit ausreichender Temperaturdifferenz ein Monitoring durchgeführt wird.

Der ermittelte Temperaturverlauf in Grad Celsius entlang eines Abschnittes einer Pipeline ist beispielhaft mit der Fig. 4 dargestellt, wobei ein faseroptisches Sensorkabel in einer Anordnung gemäß Fig. 1a bzw. 1b verwendet wurde. So ist ausgehend vom Koordinatenursprung im Abstand von 250 Metern ein örtlich ansteigender Temperaturverlauf erkennbar, wobei dieser Peak auf eine Leckage zurückzuführen ist.

Mit Hilfe der Fig. 2 soll die Anordnung des verteilten Temperatursensors bzw. des im Ausführungsbeispiel verwendeten faseroptischen Sensorkabels in einem U-förmigen Abschnitt zum Temperatursgleich einer längeren Rohrleitung, wie beispielsweise in Heiztrassen verwendet, erläutert werden.

Die Heiztrasse 10 weist demnach waagerechte Abschnitte 10.1 und senkrechte Abschnitte 10.2 auf. Im Bereich zwischen zwei senkrechten Abschnitten 10.2 befindet sich ein weiterer waagerechter Abschnitt 10.1, der einen Flansch 11 oder eine Schweißnaht aufweist. Das Sensorkabel 5 ist mit Ausnahme des waagerechten Abschnittes im Bereich des Flansches 11 an allen anderen waagerechten Abschnitten 10.1 im wesentlichen längs und unterhalb der Heiztrasse 10 befindlich.

Im Bereich der senkrechten Abschnitte 10.2 sowie im waagerechten Flanschabschnittsbereich ist das Sensorkabel 5 schraubenlinienförmig oder schleifenförmig, umfangsmäßig die Heiztrasse 10 umschlingend ausgebildet. Die Schlingen- oder Windungszahl ist im Flanschbereich erhöht, so daß eine sichere Erkennung auch kleinster Leckagen besonders am Ort des Flansches 11 bzw. an einer Schweißnaht gewährleistet ist.

Selbstverständlich können auch in den übrigen Abschnitten 10.1 schraubenlinienförmig bzw. schleifenförmig die Heiztrasse 10 umfangsmäßig umgreifende Sensorkabel 5 angeordnet sein.

Die Fig. 3a zeigt ein anderes Ausführungsbeispiel des Verfahrens insbesondere zur Überwachung eines Tanks bzw. Flachbodenbehälters 20.

Der Tank bzw. Flachbodenbehälter 20 ist mit einem Medium 40 gefüllt und weist einen Doppelboden 50, bestehend aus innerem Boden 51 und äußerem Boden 52, auf. Im Doppelbodenzwischenraum 50 ist zweckmäßigerweise auf der Innenseite des Außenbodens 52 ein durchgehendes oder mäanderförmiges Sensorkabel 60 angeordnet.

Zweckmäßigerweise kann der Außenboden 52 ein leichtes Gefälle G aufweisen, wobei die Ausbreitungsgeschwindigkeit des durch ein Leck 70 eindringenden Mediums und damit die Menge aus dem bekannten Abstand der Sensorkabel 60 und dem Gefälle G ermittelbar ist.

Die Fig. 3b zeigt in prinzipieller Darstellung die Anordnung eines als Schleife mäanderförmig ausgebildeten Sensorkabels 60, welches beispielsweise mittels Klammern (nicht gezeigt) auf dem Außenboden 52 und zur Innenseite des Zwischenbodens eines Tanks 20 hin gerichtet angeordnet ist.

Da davon auszugehen ist, daß die Umgebung des Tanks 20 eine andere Temperatur als das im Tank 20 befindliche Medium 40 aufweist, kann nicht nur erkannt werden, ob ein Leck 70 im inneren Boden 51 vorhanden ist, sondern Korrosionserscheinungen und Lecks im Außenboden 52 mit der Folge des Eindringens von z. B. Grund- oder Regenwasser können ebenfalls festgestellt werden.

Bei diesem Ausführungsbeispiel wird also ein Überwachungsraum gebildet, der das Sensorkabel 60 aufnimmt, um örtliche Temperaturanomalien im Überwachungsraum festzustellen, so daß Rückschlüsse auf eindringende Medien gezogen werden können. Aufgrund des gewählten Verfahrens können gleichzeitig mehrere Leckagen an unterschiedlichen Orten erkannt werden.

Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel wird der langgestreckte Temperatursensor bzw. das Sensorkabel mittels eines Rohrmolchs in das Innere z. B. einer Abwasserleitung eingezogen und verlegt. Bei diesem Ausführungsbeispiel kann festgestellt werden, ob durch Risse und sonstige Undichtigkeiten im Abwasserkanal Grundwasser von außen eindringt, so daß gezielt Sanierungen vorgenommen werden können.

Die vorangegangenen Ausführungsbeispiele zeigen, daß mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und der dazugehörigen Vorrichtung zum einen überwacht werden kann, ob ein flüssiges oder gasförmiges Medium, welches in einem Medienraum befindlich ist, Leckagebedingt austritt oder ob ein Fremdmedium in dem von einem Behälter oder Rohrleitung oder dergleichen umschlossenen Medienraum in unerwünschter Weise eintritt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Kontrolle und Überwachung des Zustandes von Rohren, Behältern, Pipelines oder dergleichen, welche flüssige oder gasförmige Medien mit einer bezogen auf die unmittelbare Umgebung unterschiedlichen Medientemperatur führen oder bei welchen aufgrund einer Leckage durch Verdunstungs- oder Expansionskälte eine lokale Temperaturschwankung vorliegt mit den Schritten,
 - Feststellen der Umgebungstemperaturverteilung mindestens über Abschnitte längs und/oder umfangsmäßig und/oder im Bodenbereich nahe bei den Rohren, Behältern, Pipelines oder dergleichen, jedoch außerhalb des von diesen umschlossenen Medienraumes mittels eines langgestreckten verteilten Temperatursensors zur verteilten Temperaturmessung,
 - wobei bei festgestellter örtlicher Anomalie in der Temperaturverteilung auf eine Leckage geschlossen und der Ort, die Ausbreitungsrichtung sowie die Leckagemenge aus der Temperaturverteilung am jeweiligen Anomaliepunkt oder sich verändernden Ort der Anomalie bestimmt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zum Feststellen der Umgebungstemperaturverteilung ein faseroptisches mit Laserlicht beaufschlagtes Sensorkabel verwendet wird und in an sich bekannter Weise eine Laufzeit- und Intensitätsauswertung des rückgestreuten Laserlichtes erfolgt, wobei bei festgestellter örtlicher Anomalie in der Temperaturverteilung auf eine Leckage geschlossen und der Ort, die Ausbreitungsrichtung sowie die Leckagemenge aus der Laufzeit- und der Intensitätsauswertung am jeweiligen Punkt oder sich verändernden Ort der Anomalie bestimmt wird.
3. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der langgestreckte Temperatursensor bzw. das faseroptische Sensorkabel innerhalb eines Rohrgrabens oder einer Rohrbrücke längs des Rohres,

außenumfangsseitig angeordnet ist und an der Außenoberfläche des Rohres unmittelbar oder über einen vorgegebenen Abstand anliegt.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der langgestreckte Temperatursensor bzw. das faseroptische Sensorkabel bei im wesentlichen horizontal verlaufenden Rohren, Pipelines oder dergleichen unterhalb der Rohre angeordnet ist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere im wesentlichen parallel verlaufende Temperatursensoren bzw. Sensorkabel jeweils parallel zur Längsausdehnung der Rohre oder dergleichen und unterhalb dieser beabstandet derart angeordnet sind, daß die Ausbreitungsrichtung und -menge einer Leckage bestimmbar ist.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die parallel verlaufenden Sensorkabel einseitig schleifenförmig verbunden sind, so daß die Lasersignalein- und -auskopplung an einem einzigen Ort erfolgen kann.

7. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der langgestreckte Temperatursensor bzw. das faseroptische Sensorkabel abschnittsweise fortlaufend und schrauben- bzw. schleifenförmig die Rohre, Pipelines oder dergleichen umfangsmäßig umgibt, um insbesondere Leckagen in senkrechten Abschnitten und/oder Schweißnähten oder Verschraubungen zu überwachen.

8. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Temperatursensor bzw. das Sensorkabel unmittelbar beim Errichten eines Rohrgrabens in den Grabenboden eingebracht oder eingelegt ist oder später nachgerüstet wird.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzliche Temperatursensoren oder faseroptische Sensorkabel in oder an der Seitenwand und des Grabens oder einer Wanne angeordnet sind, und bei dicht ausgeführten Gräben oder Wannen den durch ein Leck verursachten Füllungsgrad zu bestimmen.

10. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß bei doppelwandigen Behältern, Rohren, Pipelines oder dergleichen der langgestreckte Temperatursensor bzw. das faseroptische Sensorkabel im Zwischenboden bzw. Zwischenraum angeordnet ist.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Temperatursensor bzw. das Sensorkabel zusätzlich mindestens Abschnitte des Außenumfangs oder Außenbodens der Behälter, Rohre, Pipelines oder dergleichen umgibt.

12. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, gekennzeichnet durch nachträgliches Anordnen des langgestreckten Temperatursensors bzw. des faseroptischen Sensorkabels entlang, an oder in vorhandenen Altanlagen.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

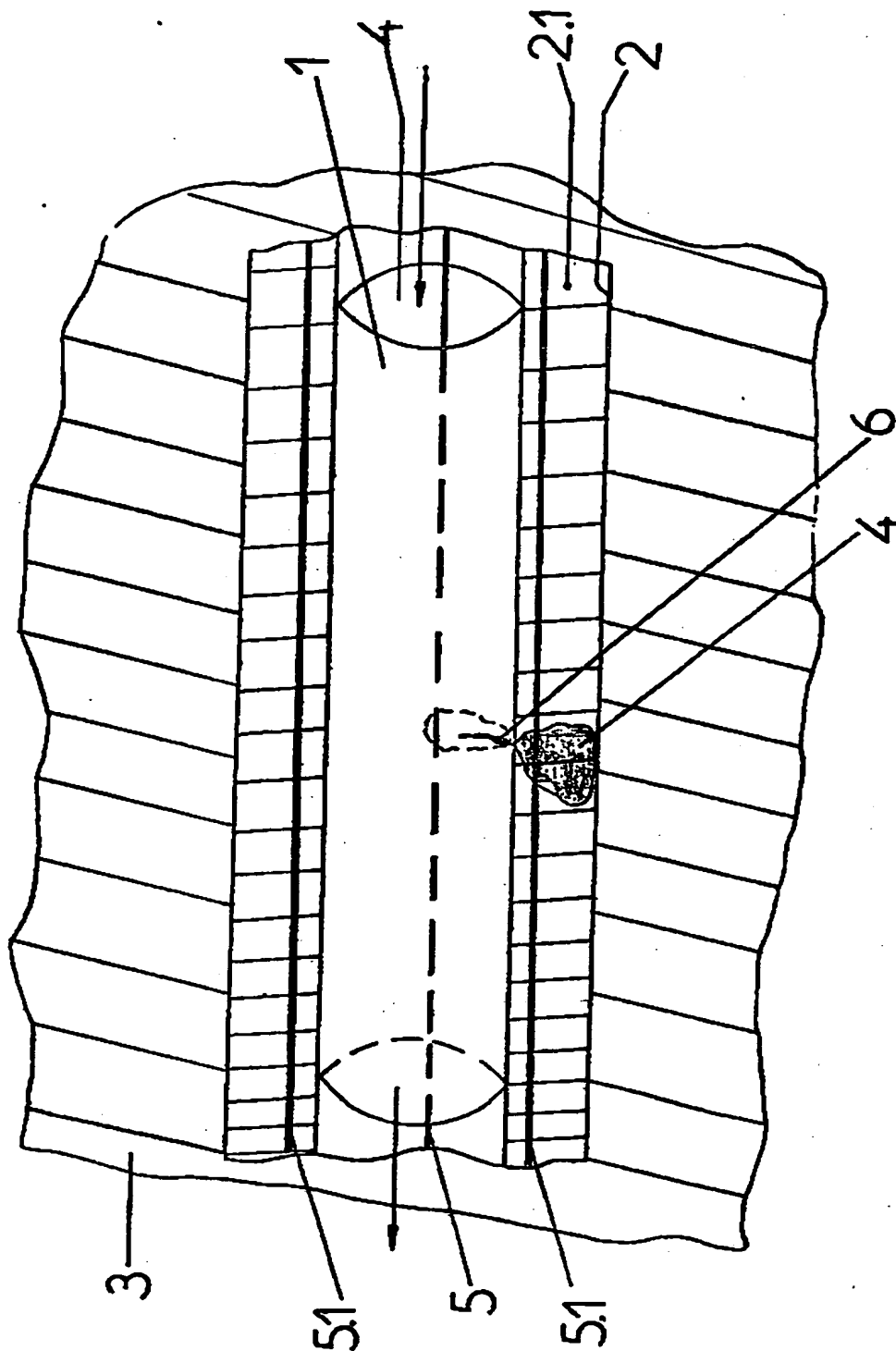


Fig. 1a

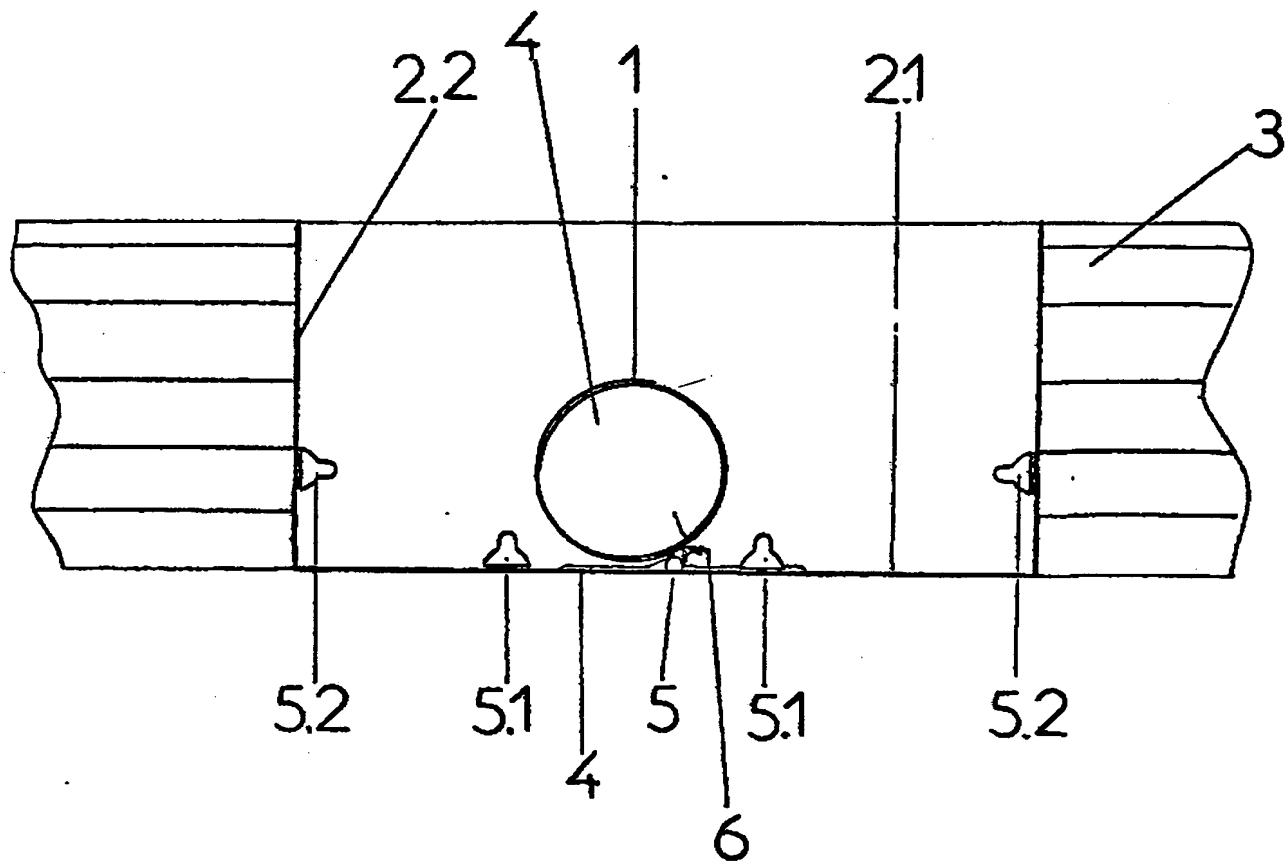


Fig.1b

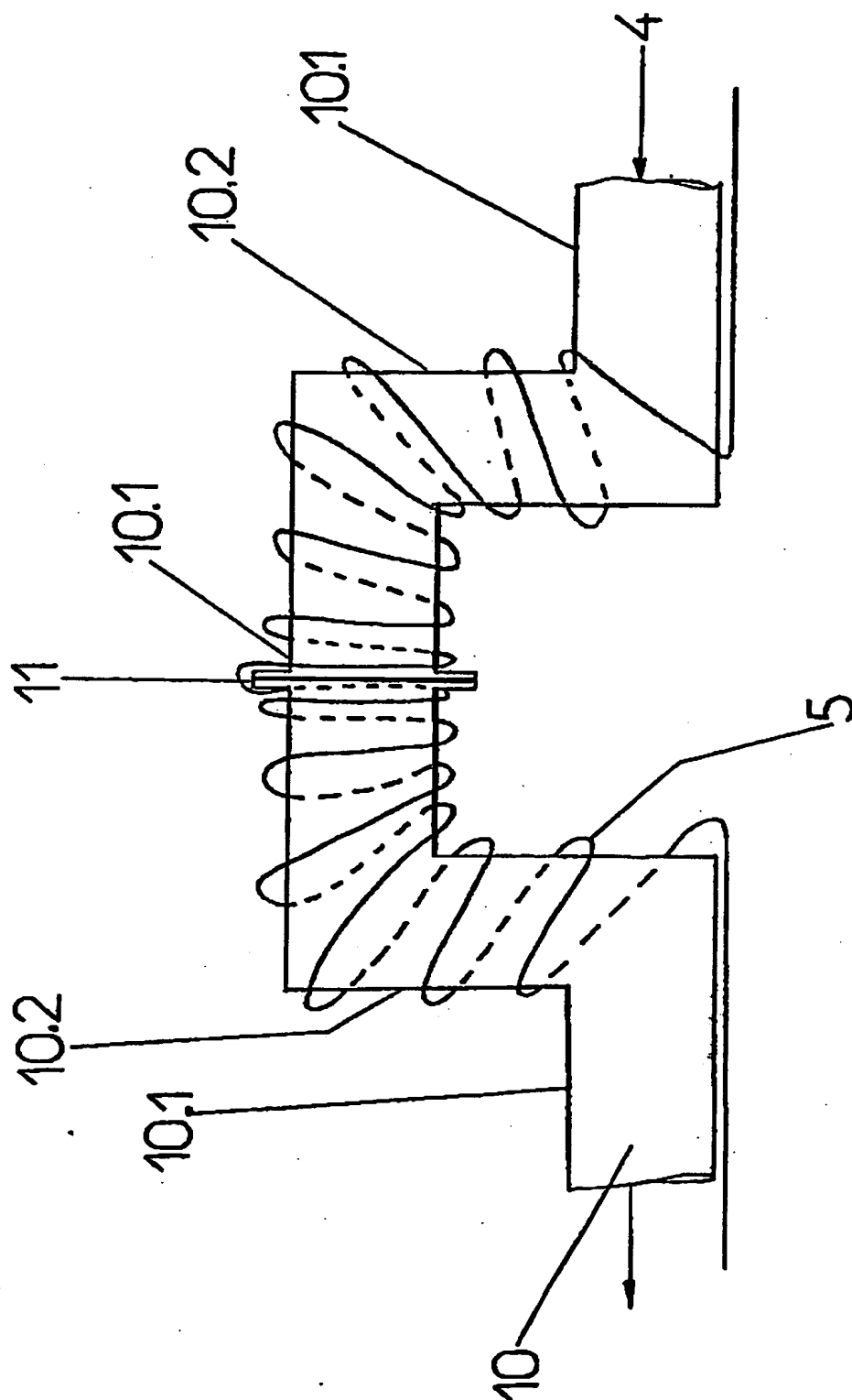


Fig.2

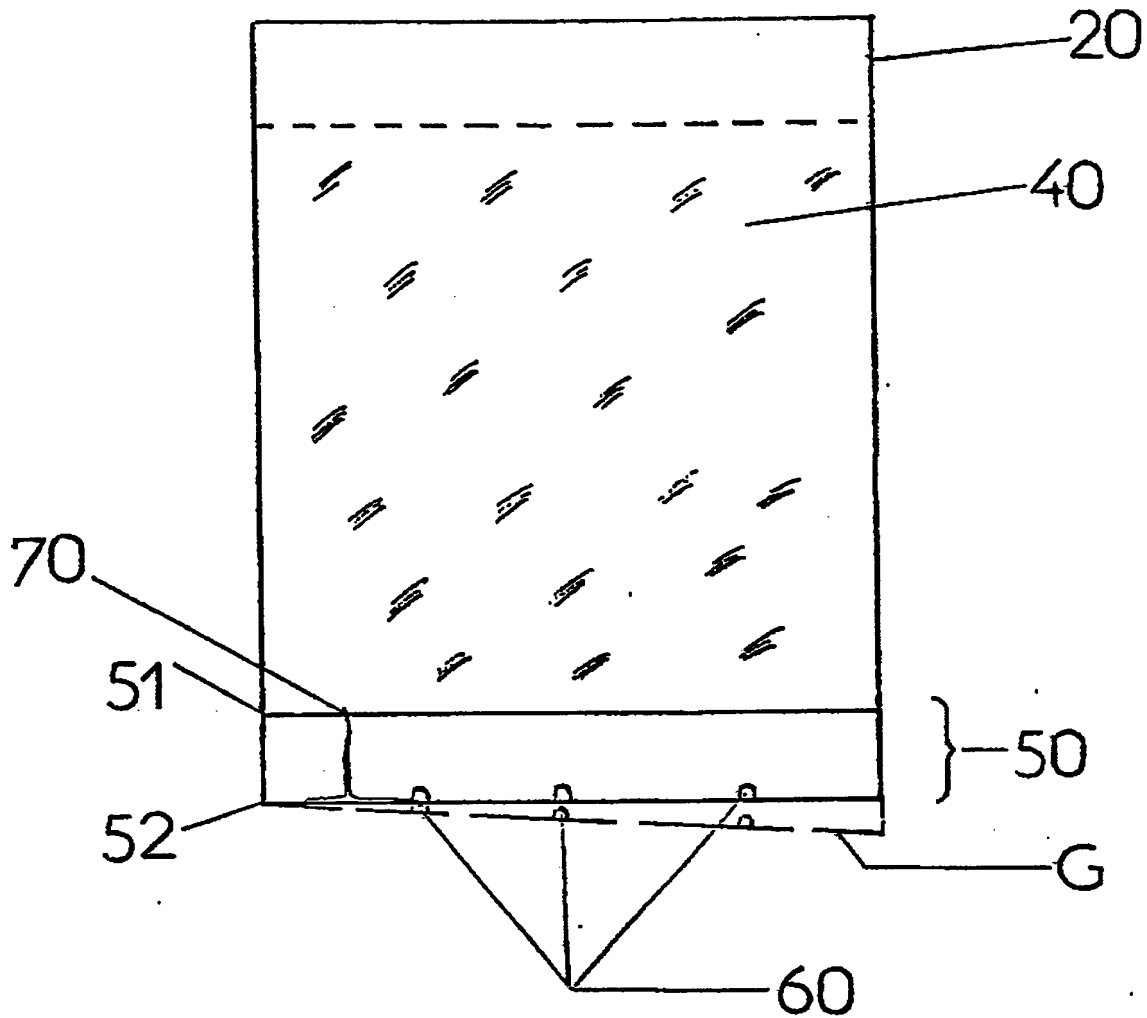


Fig.3a

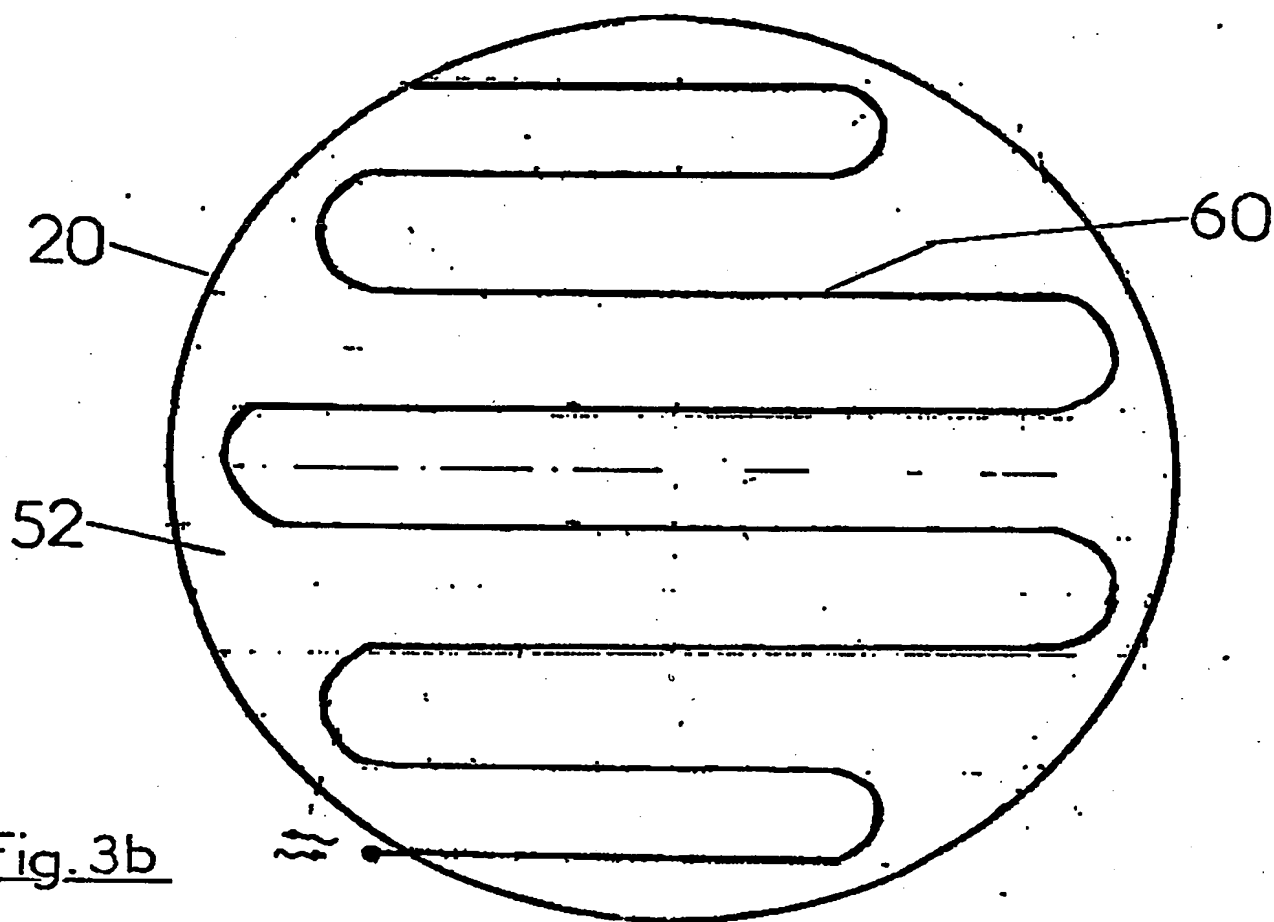


Fig. 3b

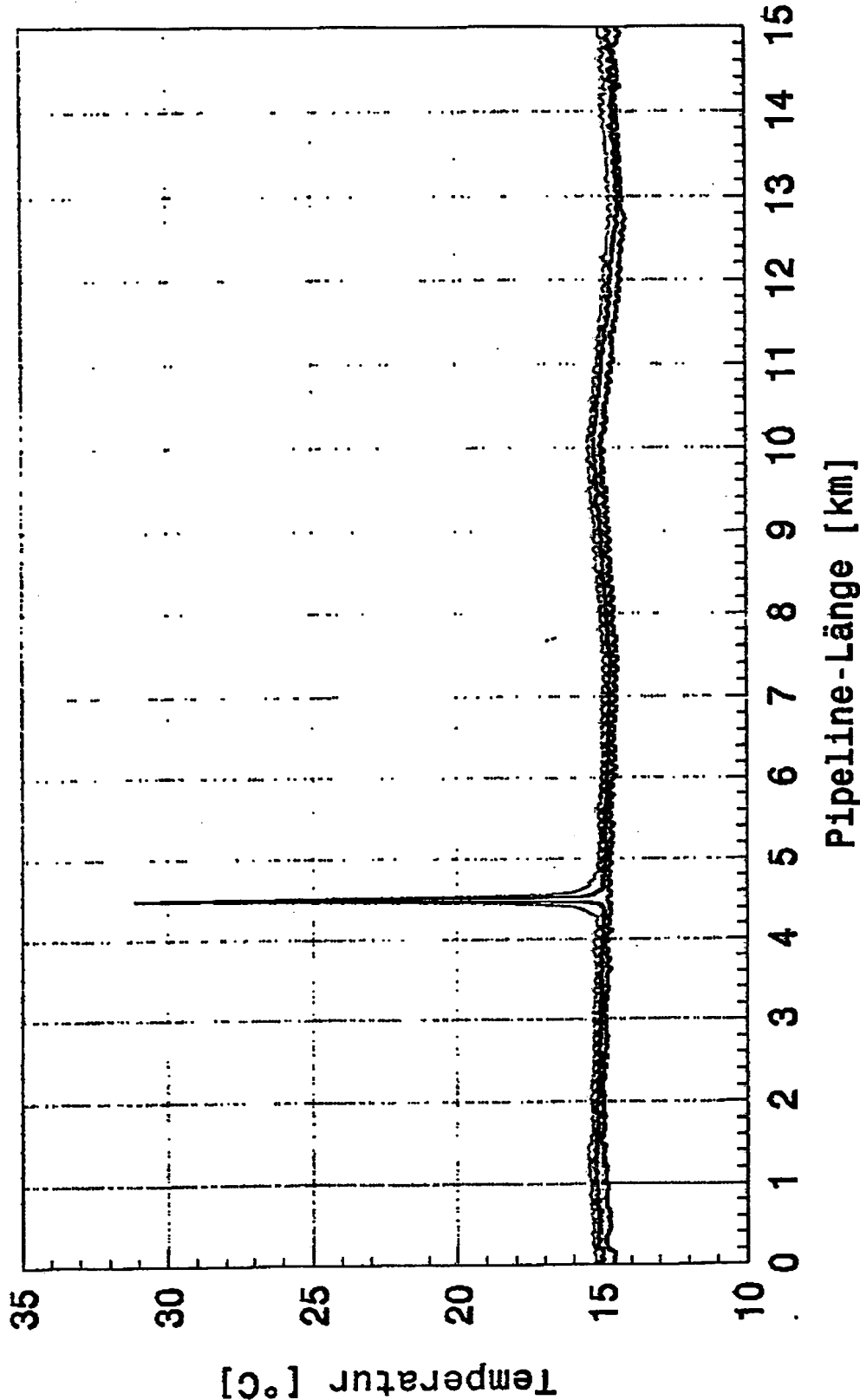


Fig. 4

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)